

ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ И РАСТЕНИЙ / ECOLOGY OF MICROORGANISMS AND PLANTS

УДК 574.58:579.264

AGRIS F30

<https://doi.org/10.36906/2311-4444/22-1/01>

Соловьянова Н.А., Емельянова Е.К., Андреева И.С.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОЛЕННЫХ ОЗЕР КУЛУНДИНСКОЙ ОЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ

Solovyanova N.A., Emelyanova E.K., Andreeva I.S.

MICROBIOLOGICAL FEATURES OF THE SALT LAKES OF THE KULUNDA LAKE SYSTEM

Аннотация. Объектом исследования являлись вода и донные осадки соленых озер Большое Яровое, Бурлинское, находящихся в Кулундинской степной низменности и имеющих рекреационное значение. Цель работы – изучение антибактериальных и противокандидозных свойств воды и донных отложений озер Кулундинской озерной области в контексте их экологического состояния. Основными факторами воздействия на бассейны озер Б. Яровое и Бурлинское являются интенсификация рекреационной нагрузки в связи с развитием внутреннего туризма, деятельность промышленных предприятий, и, как следствие, смыв загрязняющих веществ, добыча и транспортировка соли (в озере Бурлинском) и практически полная выемка иловых грязей в озере Б. Яровом, распашка прилегающих территорий. В воде и донных осадках не обнаружены возбудители инфекционных болезней, а общее микробное число составляет около 10^2 КОЕ/мл. Преобладающей группой микроорганизмов, обнаруженной на агаризованных питательных средах, являются неспороносные бактерии. Вода соленого озера Б. Ярового, стерилизованная фильтрацией, обладает ингибирующими свойствами по отношению ко всем исследованным 14-ти грамположительным и грамотрицательным тест-штаммам микроорганизмов, а вода озера Бурлинского – по отношению к девяти штаммам грамотрицательных бактерий *Salmonella sonnei* 32, *Klebsiella pneumonia* B-4894, *Pseudomonas mirabilis* 160205, *Serratia marcescens* d, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027, *Escherichia coli* 6645 ATCC 25922, грамположительным бактериям *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Mycobacterium smegmatis* GK и относительно возбудителя кандидозов *Candida albicans* 620. Показано также, что антагонистической активностью обладают и культуры спорообразующих бактерий, выделенных из воды и донных осадков исследуемых озер. В основе экологической устойчивости экосистем озер, несмотря на антропогенную трансформацию и климатические изменения, влияющие на водный и солевой режим, лежат биогенные процессы, которые обеспечивают резистентность к поступающим извне привнесенным

Abstract. The object of the study was the water and bottom sediments of the Bolshoye Yarovoye and Burlinskoye salt lakes located in the Kulunda steppe lowland and having recreational value. The aim of this work is to study the antibacterial and anti-candidiasis properties of water and bottom sediments of lakes in the Kulunda lake region in the context of their ecological state. The main factors affecting the basins of lakes B. Yarovoe and Burlinskoe are the intensification of the recreational load due to the development of domestic tourism, the activities of industrial enterprises, and, as a consequence, the washout of pollutants, the extraction and transportation of salt (in Lake Burlinskoe) and the almost complete extraction of silt mud. (in Lake B. Yarovoe), plowing of adjacent territories. No causative agents of infectious diseases were found in the water and bottom sediments, and the total microbial count is about 10^2 CFU / ml. The predominant group of microorganisms found on agar culture media are non-spore-bearing bacteria. The water of the salty lake B. Yarovoe, filtered from microorganisms, possesses inhibitory properties in relation to all studied 14 gram-positive and gram-negative test strains of microorganisms, and the water of Lake Burlinskoye – in relation to nine strains: gram-negative bacteria *Salmonella sonnei* 32, *Klebsiella pneumonia* B-4894, *Pseudomonas mirabilis* 160205, *Serratia marcescens* d, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027, *Escherichia coli* 6645 ATCC 25922, gram-positive bacteria *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Mycobacterium smegmatis* GK and regarding the causative agent of candidiasis *Candida albicans* 620. It was also shown that pure cultures of spore-forming bacteria isolated from the water and bottom sediments of the studied lakes also have antagonistic activity. The ecological stability of lake ecosystems, in spite of anthropogenic transformation and climatic changes affecting the water and salt regime, is based on biogenic processes that provide resistance to

микроорганизмам, в том числе патогенным, и их элиминацию.

Ключевые слова: озеро Большое Яровое; озеро Бурлинское; антагонизм микроорганизмов, Кулундинская низменность; микроорганизмы;

Информация об авторах: Соловьянова Надежда Алексеевна, Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора, г. Новосибирск, Россия, solovyanova_na@vector.nsc.ru; Емельянова Елена Константиновна, ORCID: 0000-0003-0970-1447, канд. биол. наук, Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора; Новосибирский государственный медицинский университет, г. Новосибирск, Россия, emelen1@yandex.ru; Андреева Ирина Сергеевна, ORCID:0000-0002-3966-3763, канд. биол. наук, Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора Россия, г. Новосибирск, andreeva_is@vector.nsc.ru

microorganisms introduced from outside, including pathogenic ones, and their elimination.

Keywords: Lake Bolshoye Yarovoe, Lake Burlinskoe, Kulundinskaya lowland, microorganisms, antagonism of microorganisms.

About the authors: Solovyanova Nadezhda Alekseevna, State Research Center of Virology and Biotechnology "Vector" Rospotrebnadzor, Novosibirsk, Russia, solovyanova_na@vector.nsc.ru; Emelyanova Elena Konstantinovna, ORCID: 0000-0003-0970-1447, Ph.D., State Research Center of Virology and Biotechnology "Vector" Rospotrebnadzor; Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia, emelen1@yandex.ru; Andreeva Irina Sergeevna, ORCID:0000-0002-3966-3763, Ph.D., State Research Center of Virology and Biotechnology "Vector" Rospotrebnadzor, Novosibirsk, Russia, andreeva_is@vector.nsc.ru

Соловьянова Н.А., Емельянова Е.К., Андреева И.С. Микробиологические особенности соленых озер Кулундинской озерной системы // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2022. № 1(57). С. 4-15. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/22-1/01>

Solovyanova, N.A., Emelyanova E.K. & Andreeva I.S. (2022). Microbiological Features of the Salt Lakes of the Kulunda Lake System. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (1(57)), 4-15. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/22-1/01>

Введение. Микробиота является динамичным компонентом экосистемы водоёмов, а внутрисезонные и межгодовые изменения видового и количественного состава микробиоценоза озёр, особенно малых, очень велики. Условия среды в озёрах характеризуются, прежде всего вертикальной и горизонтальной пестротой и большим размахом колебаний. На распространение микроорганизмов в озерах влияет множество факторов среды: климат и температура, наличие или отсутствие движения воды, уровень минерализации, жесткость воды, содержание биогенных веществ, количество растворенного в воде кислорода, наличие водной растительности, геохимия подстилающих пород, этап сукцессионного развития водоема и др.

Особый интерес представляет изучение микробиологических особенностей соленых озер, имеющих рекреационное значение, например, в Кулундинской степи Алтайского края. Кулундинская степная низменность является аккумулятивной равниной, располагается в междуречье Оби и Иртыша и характеризуется наличием бессточных озёр с солёной или горько-солёной водой. Характерными особенностями Кулундинской низменности являются незначительные колебания высот, наличие длинных пологих грив высотой около 4 метров. Режим увлажнения юга Западной Сибири носит пульсирующий характер: фазы усыхания озерных систем сменяются фазами регрессии. Меняется не только уровень воды, но и степень зарастания, видовой состав водорослей и высшей водной растительности, минерализация и соотношение основных ионов, что влияет на видовой состав фито-, зоо-, микробопланктона. В течение сезона открытой воды минерализация в озерах может значительно изменяться в сторону повышения, что приводит к изменению видового состава планктонного сообщества [10]. Глубина и площадь озер непостоянны

в зависимости от периодов засушливости и обводнения, в связи с чем они могут варьироваться от пресного состояния к солоноватому или горько-соленому, и отличаются гидрографическими особенностями, формой береговой линии, степенью зарастания и характером литорали. Наиболее подвержены антропогенному влиянию озера, расположенные вблизи населенных пунктов, с преобразованным берегом, зонами отдыха и купания, где происходит избыточное поступление привнесенной микробиоты и органических и промышленных отходов.

Похожая экологическая ситуация описана для другого соленого озера с рекреационным использованием в Хакасии – Ширы, на берегу которого расположен курорт, где главными химическими загрязнителями также являются привнесённые органические вещества и попадающие с поверхностными и хозяйственно-бытовыми стоками патогенные микроорганизмы, в том числе энтеробактерии [14; 21].

Экологическое равновесие озер поддерживается в результате самоочищения за счет эндогенной микробиоты, обеспечивающей секрецию метаболитов, подавляющих рост патогенных микроорганизмов, а также за счет повышенной концентрации соли, негативно влияющей на привнесение аллохтонных микроорганизмов.

Объектом настоящего исследования являлась вода и донные осадки соленых озер Большое Яровое, Бурлинское, находящихся в Кулундинской озерно-аллювиальной степной низменности.

Цель работы – изучение антибактериальных и противокандидозных свойств воды и донных отложений озер Кулундинской озерной области в контексте их экологического состояния.

Материалы и методы исследования. *Отбор проб воды и донных отложений* исследуемых озер осуществляли в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб» [6] в тихую безветренную погоду при удалении от береговой линии на расстоянии 30 м (рис. 1).



Рис. 1. Местоположение точек отбора проб на озере Бурлинское (1) и Б.Яровое (2)
(Конструктор карт. <https://yandex.ru/map-constructor>)

Для обнаружения контаминации образцов воды и донных отложений патогенными микроорганизмами исследуемые образцы высевали на селективные агаризованные питательные среды: энтеробактоагар, висмутсульфитный агар, стафилококкагар, желточно-солевой агар, среды SS, Плоскирева, Левина, в соответствии с рекомендациями [17]. Общее микробное число определяли при высеве исследуемых образцов на ГРМ-агар и среду ГРМ с добавлением 5, 7, 9% NaCl; для выявления в пробах микромицетов применяли агаризованную среду Сабуро (среды производства ФБУН ГНЦ ПМБ, г. Оболенск).

Определение антимикробной активности. Образцы воды для определения антимикробной активности освобождали от микробной контаминации последовательной фильтрацией через мембранные фильтры с размером пор 0,45 и 0,22 мкм. В качестве патогенных тест-штаммов микроорганизмов использовали грамположительные, грамотрицательные бактерии и дрожжеподобный гриб рода *Candida* из состава коллекции бактерий, бактериофагов и грибов ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора (табл. 1).

Таблица 1

**Перечень патогенных тест-штаммов микроорганизмов,
используемых для определения антимикробной активности воды и осадков исследуемых озер**

№ п/п	Наименование тест- штамма	Колл. №	Гр-реакция	Группа патогенности
1	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6538	B-1266	+	4
2	<i>Streptococcus faecalis</i> 555 B-4426	B-330	+	4
3	<i>Salmonella typhimurium</i> 2606	B-581	-	4
4	<i>Klebsiella pneumonia</i> B-4894	B-378	-	4
5	<i>Shigella sonnei</i> 32	B-582	-	3
6	<i>Staphylococcus epidermidis</i> 1833 MRSE	B-1348	+	4
7	<i>Serratia marcescens</i> d	B-1	-	4
8	<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	B-1373	-	4
9	<i>Bacillus cereus</i> ATCC 10702	B-1367	+	4
10	<i>Bacillus subsp. spizizenii</i> ATCC 6633	B-1376	+	4
11	<i>Proteus mirabilis</i> 160205	B-1267	-	4
12	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 9027	B-656	-	4
13	<i>Mycobacterium smegmatis</i> GK	B-836	+	4
14	<i>Candida albicans</i> 620	Y-583	+	3

Для определения антимикробной активности применяли совместное инкубирование образцов фильтратов и суспензий патогенных бактерий в жидкой питательной среде LB (Difco, США). Для исключения возможного влияния аборигенной микробиоты на антимикробную активность образцы воды были стерилизованы фильтрацией. Фильтраты образцов воды по 0,3 мл вносили в пробирки с 0,3 мл среды LB и 0,01 мл суточной культуры тест-штамма, суспендированной в физиологическом растворе до оптической плотности 10^{5-6} кл/мл. Далее пробирки с культурами и фильтратами выдерживали в аэрируемых условиях на термостатируемой качалке при температуре 37°C в течение 24 час. Полученные культуральные жидкости и их десятикратные разведения (до 10^{-7}) высевали методом микротитрования по 10 мкл, в двух повторах на агаризованную среду ГРМ и инкубировали емкости с посевами в термостате при температуре 37°C, в течение 18-24 часов, после чего подсчитывали количество выросших колоний для определения КОЕ/мл суспензии. Пробы культуральной жидкости для определения титра жизнеспособных клеток отбирали через 10 мин инкубирования и через 24 час. В качестве контроля жизнеспособности клеток культуры определяли титр клеток в суспензии тест-штаммов без добавления исследуемых образцов воды.

Для определения взаимного антагонизма применяли метод отсроченных перпендикулярных штрихов на агаризованной среде при совместном культивировании патогенных тест-штаммов и изолятов, выделенных из воды и донных осадков озер [9].

Чувствительность к антибиотикам определяли диско-диффузионным методом согласно рекомендациям Межрегиональной ассоциации по клинической микробиологии и антимикробной химиотерапии [16]. В работе использованы диски с антибиотиками (мкг/диск): оксациллин (1), эритромицин (15), левофлоксацин (5), клиндамицин (10), бензилпенициллин 10ЕД (6 мкг), ципрофлоксацин (5), ванкомицин (30), имипенем (10), амикацин (30), тикарциллин/клавуланат (75/10), цефтазидим (30), цефтриаксон (30), цефепим (30), цефотаксим (30).

Результаты и обсуждение. Оба исследуемых озера располагаются вблизи города Славгорода, что сказывается на интенсивности антропогенной нагрузки.

Большое Яровое (Б. Яровое) занимает глубокую котловину (около 25 м) с крутыми и обрывистыми берегами, изрезанными глубокими оврагами с перепадами высот 10-15 м и является самой низкой точкой Алтайского края. Юго-западный берег имеет вид крутого яра высотой до 20 м, в области уреза имеются выходы грунтовых вод. Берег восточной части возвышается над уровнем озера на 1,5-2,0 м. Площадь акватории составляет 70 км² со средней глубиной 4 м, с максимальной глубиной около 9 м. Длина озера 11 км, ширина 7,9 км. Донные грунты классифицируются как песчаные (крупнозернистый желтый песок) – 15%, песчано-илистые – 25%, илистые (черные, серо-черные и темно-серые илы) – 60%, имеются прослойки галита, мирабилита. Донные отложения содержат илы с мощностью залегания около 0,6-1,5 м. Озеро бессточное, питание атмосферное и грунтовое. Основные составляющие приходного водного баланса озера – весенний сток с водосбора, выходы грунтовых вод у крутых берегов, зимние и летние осадки, в расходной части – испарение. На берегу озера расположен город Яровое, грязелечебный санаторий «Химик», КГБУЗ «Краевой лечебно-реабилитационный центр озеро Яровое» [2], что значительно увеличивает на летний период антропогенный пресс доходя до 15 тыс. человек в день (<https://clck.ru/bNFAw>). Основу лечения в санатории составляют илово-сульфидные грязи, запас которых в озере Б.Яровое уже исчерпан, в связи с чем их доставляют с озера М. Яровое. В результате техногенного влияния, расположенного рядом и функционировавшего с 1944 г ОАО «Алтайхимпром», произошло накопление ртутьсодержащих отходов в донных осадках озера [12]. Основными диффузными источниками поступления техногенной ртути в озеро являются береговые отвалы твердых отходов комбината, особенно в период снеготаяния [19]. Содержание ртути на твердых частицах озерной воды составляло $0,22 \pm 0,21$ мг/кг, в донных осадках $0,16 \pm 0,14$ мг/кг [15].

Озеро используется в качестве места сброса хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод после очистки, но при этом является важным промышленным водоемом для рачка артемии – единственного представителя мезозoopлankтона [1; 3].

Минерализация воды озера Б. Яровое составляла в разные годы 110-120 [7], 133 [12; 13], 179,4 г/л [11] и могла колебаться от 90,0 (май 2005 г.) до 226,0 г/л (сентябрь 2007 г.) [5], от 146 на поверхности у северо-восточного берега до 206 г/л – у западного берега.

Вода оз. Б. Яровое относится к ультрагалинной соленой хлоридно-натриевой III типа по классификации О.А. Алекина. Преобладающими катионами и анионами для нее являются ионы натрия – 41768-66160 мг/дм³ и хлора – 85080-120530 мг/дм³. Среди остальных катионов преобладают ионы магния (10445-11125 мг/дм³), среди анионов – сульфат-ионы (6650-8200 мг/дм³).

Характерной особенностью для гипергалинных озер является превышение Mg^{+2} над Ca^{+2} . С ростом минерализации воды в озере отношение Mg^{+2}/Ca^{+2} увеличивается. Значение рН в диапазоне 7,75-8,0 [8].

В озере Б. Яровое наблюдается температурная стратификация с сохранением в летний период отрицательных температур. В июне температура поверхностного слоя рапы достигает 18-19,9°C, температура воды у дна (на глубине 8-9 м) может быть отрицательной и составлять до -5°C [4].

Озеро Бурлинское расположено в котловине с обрывистыми, от 3 до 5 м, берегами, со средней глубиной 1,65 м. На озере у посёлка Бурсоль с 1762 года добывается поваренная соль на крупнейшем месторождении поваренной соли в Западной Сибири. Минерализация воды озера Бурлинское составляла в разные годы от 253,0 г/л [20] до 346,2 г/л [11].

Наивысшее положение уровня водной глади отмечается во второй декаде апреля, наиболее низкое – в первой декаде октября. Летом и осенью обычно испарение с поверхности озера превышает выпадение осадков. Зимой наблюдается подъем уровня воды, что связано с притоком подземных вод при отсутствии испарения и ледового покрова. При низких уровнях воды в летний период насыщенность солями значительно возрастает. При кристаллизации солей происходит садка. Не растворившаяся садка уплотняется под влиянием накапливающихся над ней слоев, превращаясь в корневую соль [20].

Численность микроорганизмов в воде озер зависит от объема поступающего доступного органического вещества и начинает увеличиваться весной, с началом фотосинтеза и седиментации фитопланктона, снижаясь к концу зимнего периода с возникновением его дефицита в подледном пространстве [18]. В связи с этим отбор проб воды осуществляли в летний период, когда разнообразие микробиоты наиболее представлено. В момент взятия значение рН образцов составляло для озера Б.Ярового – 7,42, для озера Бурлинского – 6,1.

Несмотря на интенсивную рекреационную нагрузку, в воде изучаемых озер Б. Яровое и Бурлинское не обнаружены патогенные культуры, относящиеся к родам *Shigella*, *Salmonella*, *Escherichia*, *Staphylococcus*. Образцы воды и донных осадков озера Б.Ярового, высеваемые на среду Сабуро и другие агаризованные среды, не содержали микромицетов, а в воде и донных осадках озера Бурлинского их содержание составляло всего 1 КОЕ/мл. Общее микробное число на стандартной среде ГРМ составило для воды озера Б. Ярового $1,15 \times 10^2$ КОЕ/мл, для Бурлинского – $1,05 \times 10^2$ КОЕ/мл, для донных осадков озера Б.Ярового составляло $5,65 \times 10^3$ КОЕ/мл, для Бурлинского – $7,5 \times 10^2$ КОЕ/мл (рис. 2). Вода более соленого Бурлинского озера по сравнению с водой озера Б.Ярового содержала большую концентрацию галофильных микроорганизмов. На среде ГРМ с 5% NaCl численность для озера Б.Ярового составила $0,25 \times 10^2$ КОЕ/мл, для Бурлинского – 10×10^2 КОЕ/мл (т.е. в 40 раз выше), на среде ГРМ с 7% NaCl численность для озера Б. Ярового составила $0,55 \times 10^2$ КОЕ/мл, для Бурлинского – $3,15 \times 10^2$ КОЕ/мл (т.е. в 5,72 раза выше), на среде ГРМ с 9% NaCl численность для озера Б. Ярового составила $0,2 \times 10^2$ КОЕ/мл, для Бурлинского – $10,7 \times 10^2$ КОЕ/мл (т.е. в 53,5 раз выше).

На стандартной среде ГРМ преобладающей группой бактерий во всех образцах были неспороносные бактерии (рис. 2), наименее представленной – кокки. Однако, в образцах донных осадков озер, высеянных на среду с 5% NaCl, кокки составляли 100%. Интересно, что в пробах воды и донных осадков обоих озер на средах с концентрацией NaCl 7% и 9% кокки не обнаружены,

преобладающими являлись неспороносные бактерии. Во всех образцах воды и донных осадков, высеянных на среду ГРМ 9%, обнаруживались только неспороносные бактерии (рис. 2-4).

Поскольку санаторно-курортное лечение в учреждениях, расположенных вблизи соленых озер, обычно подразумевает купание, представлялось интересным исследовать антибактериальную активность воды относительно патогенных микроорганизмов и оказание ее возможного положительного оздоровительного эффекта на купающихся (табл. 2).

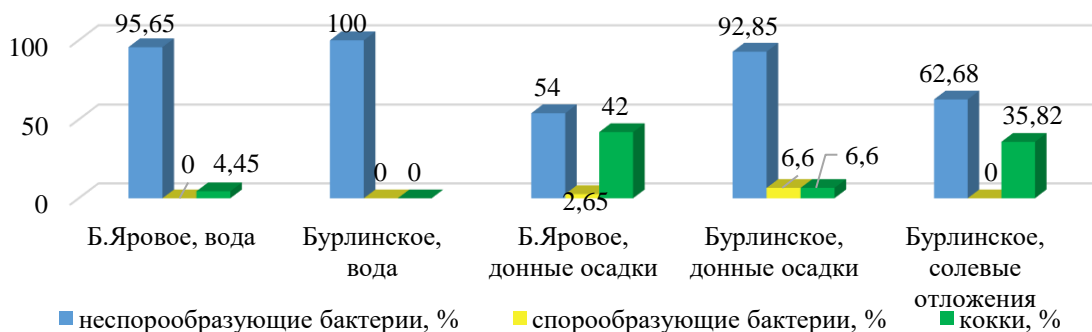


Рис. 2. Содержание бактерий по группам (спорообразующие, неспороносные, кокки) в образцах воды, донных осадков и соли озер на стандартной среде ГРМ

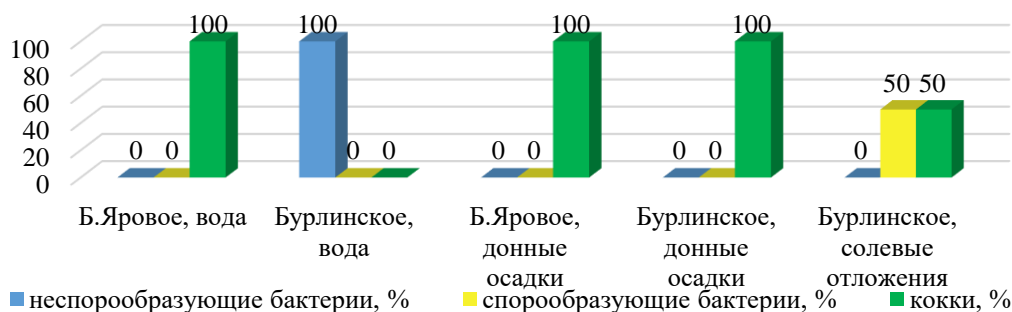


Рис. 3. Содержание бактерий по группам (спорообразующие, неспороносные, кокки) в образцах воды, донных осадков и соли озер на среде ГРМ 5%NaCl

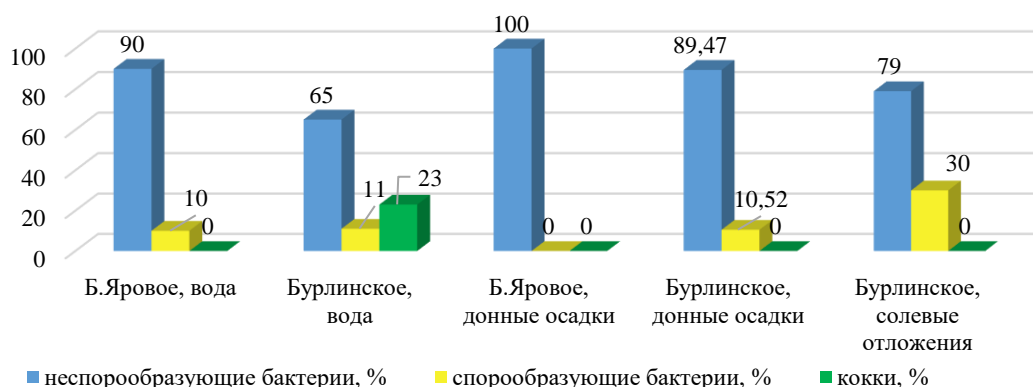


Рис. 4. Содержание бактерий по группам (спорообразующие, неспороносные, кокки) в образцах воды, донных осадков и соли озер на среде ГРМ 7%NaCl

Таблица 2

**Определение антимикробной активности проб воды
при совместном инкубировании с клетками тест-штаммов**

№	Тест-штамм	Время культивирования	Образец / титр клеток тест-штамма (КОЕ/мл)			
			вода, озеро Яровое	вода, озеро Бурлинское	*соль, озеро Бурлинское	контроль штамма (б/д)
1.	<i>Salmonella typhimurium</i> B-581	10 мин	$1,7 \times 10^7$	$1,8 \times 10^7$	$1,9 \times 10^7$	$1,65 \times 10^7$
		24 часа	$7,0 \times 10^6$	$1,8 \times 10^9$	$3,5 \times 10^9$	$9,0 \times 10^9$
2.	<i>Shigella sonnei</i> B-582	10 мин	$1,8 \times 10^7$	$1,8 \times 10^7$	$2,0 \times 10^7$	$1,55 \times 10^7$
		24 часа	9×10^4	$1,9 \times 10^6$	$1,3 \times 10^{10}$	$2,2 \times 10^{10}$
3.	<i>Klebsiella pneumonia</i> B-378	10 мин	$9,0 \times 10^6$	$1,1 \times 10^7$	$1,05 \times 10^7$	$1,4 \times 10^7$
		24 часа	$4,0 \times 10^6$	$5,0 \times 10^7$	$1,2 \times 10^9$	$6,0 \times 10^9$
4.	<i>Proteus mirabilis</i> B-1267	10 мин	$6,0 \times 10^6$	$4,5 \times 10^6$	$8,0 \times 10^6$	$7,0 \times 10^6$
		24 часа	$9,0 \times 10^2$	$6,5 \times 10^6$	$2,0 \times 10^8$	$6,0 \times 10^8$
5.	<i>Streptococcus faecalis</i> B-330	10 мин	$6,5 \times 10^6$	$5,0 \times 10^6$	$4,0 \times 10^6$	$6,5 \times 10^6$
		24 часа	$6,0 \times 10^6$	$1,05 \times 10^7$	$1,5 \times 10^8$	$3,0 \times 10^8$
6.	<i>Staphylococcus epidermidis</i> B-1351	10 мин	$1,7 \times 10^5$	$1,9 \times 10^5$	$1,9 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$
		24 часа	$3,5 \times 10^4$	$3,0 \times 10^7$	$1,25 \times 10^8$	$4,5 \times 10^8$
7.	<i>Bacillus cereus</i> B-1367	10 мин	$1,15 \times 10^5$	$1,8 \times 10^5$	$1,9 \times 10^5$	$2,5 \times 10^5$
		24 часа	$6,0 \times 10^4$	$4,0 \times 10^6$	$4,0 \times 10^6$	$6,0 \times 10^6$
8.	<i>Bacillus subtilis</i> B-1376	10 мин	$1,65 \times 10^6$	$1,45 \times 10^6$	$1,5 \times 10^6$	$2,5 \times 10^6$
		24 часа	$5,4 \times 10^6$	$2,5 \times 10^8$	$3,0 \times 10^8$	$5,0 \times 10^8$
9.	<i>Serratia marcescens</i> d B-1	10 мин	$4,8 \times 10^6$	$3,2 \times 10^6$	$2,45 \times 10^6$	$5,0 \times 10^6$
		24 часа	$1,9 \times 10^4$	$2,65 \times 10^4$	$5,5 \times 10^6$	$5,0 \times 10^8$
10.	<i>Staphylococcus aureus</i> B-1266	10 мин	$5,0 \times 10^6$	$6,5 \times 10^6$	$5,5 \times 10^6$	$2,1 \times 10^6$
		24 часа	$9,5 \times 10^6$	$9,0 \times 10^6$	$8,0 \times 10^8$	$1,9 \times 10^9$
11.	<i>Candida albicans</i> Y-583	10 мин	$7,0 \times 10^4$	$8,0 \times 10^4$	$6,2 \times 10^4$	$6,5 \times 10^4$
		24 часа	$1,65 \times 10^3$	$6,5 \times 10^4$	$7,0 \times 10^5$	$7,0 \times 10^6$
12.	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> B-656	10 мин	$1,5 \times 10^7$	$2,0 \times 10^7$	$1,15 \times 10^7$	$2,5 \times 10^7$
		24 часа	$1,85 \times 10^3$	$1,5 \times 10^3$	$6,5 \times 10^3$	$8,5 \times 10^8$
13.	<i>Escherichia coli</i> B-1373	10 мин	$5,5 \times 10^7$	$6,5 \times 10^7$	$3,5 \times 10^7$	$9,0 \times 10^7$
		24 часа	$1,35 \times 10^4$	$1,8 \times 10^4$	$5,2 \times 10^8$	$5,0 \times 10^8$
14.	<i>Mycobacterium smegmatis</i> B-836	10 мин	$4,5 \times 10^2$	$3,5 \times 10^2$	$3,8 \times 10^2$	$3,5 \times 10^2$
		24 часа	$4,5 \times 10^2$	$4,5 \times 10^2$	$5,5 \times 10^4$	$3,5 \times 10^6$

*соль – садка соли со дна озера Бурлинского в количестве 1 г с добавлением 10 г дистиллированной воды

При совместном инкубировании образцов озерной воды и патогенных тест-штаммов снижение концентрации клеток по сравнению с контролем спустя 24 часа культивирования оказывала вода озера Ярового: снижение титра клеток в культуральной жидкости на два порядка наблюдали для штаммов *S. faecalis* B-330, *B. cereus* B-1367, *C. albicans* Y-583, на три порядка для штаммов *S. typhimurium* B-581, *K. pneumonia* B-378, *S. aureus* B-1266, на четыре порядка для штаммов *S. sonnei* B-382, *P. mirabilis* B-1267, *S. epidermidis* B-1351, *S. marcescens* B-1, *E. coli* B-1373, *M. smegmatis* B-836, на пять порядков для штамма *P. aeruginosa* B-656.

Образцы воды озера Бурлинского повлекли снижение концентрации клеток в сравнении с контролем на один порядок для тест-штаммов *S. faecalis* B-330, *S. epidermidis* B-1351, на два порядка – для штаммов *C. albicans* Y-583, *K. pneumonia* B-378, *P. mirabilis* B-1267, на 3 порядка для штаммов *S. aureus* B-1266, на 4 порядка для штаммов *S. sonnei* B-582, *S. marcescens* B-1, *E. coli* B-1373, *M. smegmatis* B-836, на 5 порядков для штамма *P. aeruginosa* B-656. Вода озера Бурлинского не оказала бактериостатического эффекта на штаммы *S. typhimurium* B-581, *B. cereus* B-1367, *B. subtilis* B-1376. Следует отметить, что совместная 10-минутная экспозиция фильтратов и суспензий патогенных культур не выявила заметного антибиотического действия на микроорганизмы.

Вопреки ожиданиям, образцы донной соли озера Бурлинского в десятикратном разведении водой оказали меньший ингибирующий эффект по сравнению с озерной водой и только на 3 тест-штамма (табл. 2). В целом, вода озера Б. Ярового, несмотря на меньшую минерализацию, оказывала бактериостатический эффект на больший спектр штаммов. В связи с этим, предположительно, ингибирующий эффект по отношению к патогенным микроорганизмам оказывает не повышенная концентрация солей в составе воды и донных осадков, а органоминеральный комплекс веществ биогенного происхождения, например, метаболиты клеток бактерио-, фито- и зоопланктона. По-видимому, антибактериальный и кандидостатический эффект связан с биогеохимической активностью иловых осадков, которые находились в точке отбора проб озера Б. Ярового и отсутствовали или находились ниже солевой садки в точке отбора проб озера Бурлинского. Кроме этого, озеро Б. Яровое является более глубоким и обладает большим биоразнообразием по сравнению с озером Бурлинским, что сказывается на стабильности экосистемы и возможном спектре противомикробных биологически активных соединений. Важно, что наибольший ингибирующий эффект соленой воды озер наблюдался по отношению к высокопатогенному штамму синегнойной палочки *P. aeruginosa* В-656, где все три образца испытуемой соленой воды оказали снижение роста бактерии на 5 порядков. Самое значительное снижение концентрации клеток в опытной суспензии ($9,0 \times 10^2$ КОЕ/мл) по сравнению с контролем ($6,5 \times 10^6$ КОЕ/мл) наблюдали для штамма *P. mirabilis* В-1267 после совместного инкубирования с водой озера Б. Яровое в течение 24 часов.

Выделенные из воды исследуемых озер спорообразующие бактерии выборочно проанализированы на наличие антимикробной активности по отношению к патогенным тест-штаммам (проанализировано 20 культур). Наиболее выраженная активность всех исследуемых бактерий показана относительно штамма *C. albicans* У-583 – зона угнетения роста составляла в среднем 23,7 мм, для 4-х штаммов (№ 55, 80, 100, 105) достигая 32 мм. Штаммы спорообразующих бактерий № 68, № 100 и № Б2, выделенные из донных осадков, эффективно угнетали рост штаммов *S. aureus* В-1266, *S. faecalis* В-330, *E. coli* В-1373, *K. pneumonia* В-378, *S. marcescens* В-1, *B. cereus* В-1367, *B. subtilis* В-1376.

Штаммы спорообразующих бактерий № 68, № 100 и № Б2 были чувствительными к антибиотикам: левомецетину, амикацину, и бета-лактамам - имипенему, цефепиму, цефотаксиму, ципрофлоксацину, устойчивы к клиндамицину и оксациллину. Штамм № 68 был резистентен, а штаммы № 100 и № Б2 чувствительны к эритромицину, цефтриаксону, тикарциллину/клавуланату. Что касается тестирования остальных 17-ти штаммов выделенных спорообразующих бактерий на чувствительность к антибиотикам, то наиболее выраженная чувствительность обнаружена к эритромицину, левомецетину, амикацину, ципрофлоксацину, имипенему, цефепиму, цефотаксиму, наблюдалась резистентность к оксациллину, цефтазидиму, промежуточная чувствительность к клиндамицину, ванкомицину, бензилпенициллину, тикарциллину/клавуланату, цефтриаксону. Таким образом штаммы спорообразующих бактерий, не смотря на синтез собственных антибиотических метаболитов, проявляли чувствительность к применяемым антибиотикам.

Следует отметить, что спектр патогенных штаммов, подавляемых под влиянием образцов воды, шире, по сравнению со спектром, подавляемым спорообразующими бактериями, что возможно связано с малой выборкой спорообразующих бактерий.

Заключение. Основными факторами воздействия на бассейны озер Б. Яровое и Бурлинское являются интенсификация рекреационной нагрузки в связи с развитием внутреннего туризма, деятельность промышленных предприятий, и, как следствие, смыв загрязняющих веществ, в том числе, ртути в озере Б. Яровом, добыча и транспортировка соли в озере Бурлинском и практически полная выемка иловых грязей в озере Б. Яровом, распашка прилегающих территорий.

В воде и донных осадках не обнаружены возбудители инфекционных болезней, а общее микробное число составляло около 10^2 КОЕ/мл. Преобладающей группой культивируемых микроорганизмов, обнаруженных в условиях опыта в исследуемых образцах, являются неспороносные бактерии. Вода соленого озера Б. Ярового обладает ингибирующими свойствами по отношению ко всем исследованным 14-ти грамположительным и грамотрицательным тест-штаммам микроорганизмов, а вода озера Бурлинского – по отношению к девяти штаммам грамотрицательных бактерий: *S. sonnei* В-582, *K. pneumoniae* В-378, *P. mirabilis* В-1267, *S. marcescens* В-1, *P. aeruginosa* В-656, *E. coli* В-1373, грамположительным бактериям *S. aureus* В-1266, *M. smegmatis* В-836 и относительно возбудителя кандидозов *C. albicans* У-583. Важно отметить, что наиболее выраженное антибиотическое действие озерной воды отмечено для возбудителей гноеродных инфекций, включая кожные заболевания, штаммам вида *P. aeruginosa*, *S. aureus*, *S. epidermidis*, *C. albicans*.

Показано также, что антагонистической активностью к патогенным тест-штаммам обладают культуры спорообразующих бактерий, выделенных из воды и донных осадков исследуемых озер.

В основе экологической устойчивости экосистем озер, несмотря на антропогенную трансформацию и климатические изменения, влияющие на водный и солевой режим, лежат биогенные процессы, которые обеспечивают резистентность к поступающим извне привнесенным микроорганизмам, в том числе патогенным, и их элиминацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алешина Н.И. Реконструкция биологических очистных сооружений г. Яровое для защиты озера Большое Яровое от загрязнения // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. №3 (197). С. 34-38.
2. Антюфеева Т.В., Акимов О.С., Курепина Н.Ю., Дунец А.Н., Рымарь А.А. Гидроминеральные ресурсы как фактор развития лечебно-оздоровительного туризма в Алтайском крае // Наука и туризм: стратегии взаимодействия. 2019. №11. С. 63-76.
3. Бижанов А.Т. Региональные критерии нормирования сброса биогенных веществ в водные объекты на примере оз. Большое Яровое // Вестник современных исследований. 2018. №6.3. С. 80-84.
4. Веснина Л. *Artemia* Leach, 1819 гипергалинных озёр юга западной Сибири // Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele vieţii. 2014. V. 322. №1. P. 90-103.
5. Веснина Л.В., Ронжина Т.О., Коротких В.Б., Пермякова Г.В., Клепиков Р.А. Результаты мониторинговых исследований промысловых гипергалинных озёр Алтайского края // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2011. №4. С. 46-51.
6. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. Дата введения 2001-07-01.
7. Дирин Д.А., Мардасова Е.В., Рыгалов Е.В. Ресурсы оздоровительной рекреации в Кулундинской степи // География и природопользование Сибири. 2017. №24. С. 11-33.
8. Долматова Л.А. Сезонная динамика гидрохимических характеристик оз. Большое Яровое // Мир науки, культуры, образования. 2010. №6-2. С. 272-277.
9. Егоров Н.С. Выделение микробов-антагонистов и биологические методы учета их антибиотической активности. М.: Изд-во МГУ, 1957. 78 с.
10. Ермолаева Н.И. К зоогеографическому анализу фауны зоопланктона озер юга Обь-Иртышского междуречья // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2015. №2 (37). С. 63-71.
11. Лебедева М.П., Лопухина О.В., Калинина Н.В. Особенности химико-минералогического состава солей в сорových солончаках и озерах Кулундинской степи // Почвоведение. 2008. №4. С. 467-480..

12. Леонова Г.А., Богуш А.А., Бобров В.А., Бадмаева Ж.О., Корнеева Т.В. Химические формы тяжелых металлов в рапе соляного озера Большое Яровое, оценка их биодоступности и экологической опасности // Экология промышленного производства. 2006. №2. С. 39-46.
13. Леонова Г. А., Богуш А. А., Бобров В. А., Бычинский В. А., Трофимова Л. Б., Маликов Ю. И. Эколого-геохимическая оценка соляных озер Алтайского края // География и природные ресурсы. 2007. №1. С. 51-59.
14. Лобова Т.И., Листова Л.В., Попова Л.Ю. Распределение гетеротрофных бактерии по акватории озера Шира // Микробиология. 2004. Т. 73. №1. С. 105-110.
15. Маликова И.Н., Устинов М.Т., Аношин Г.Н., Бадмаева Ж.О., Маликов Ю.И. Ртуть в почвах и растениях в районе озера Большое Яровое (Алтайский край) // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. №1. С. 59-66.
16. Методические рекомендации Межрегиональной ассоциации по клинической микробиологии и антимикробной химиотерапии «Определение чувствительности микроорганизмов к антимикробным препаратам». Версия 2021-01.
17. Методические рекомендации МР 4.2.0220-20. 4.2. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Методы санитарно-бактериологического исследования микробной обсемененности объектов внешней среды.
18. Сыренжапова А.С. Сезонные и межгодовые изменения активности микроорганизмов высокоминерализованных содово-соленых озер Онон-Керуленской группы: автореф. ... канд. биол. наук: Улан-Удэ, 2004. 19 с.
19. Темерев С.В., Галахов В.П., Эйрих А.Н., Серых Т.Г. Особенности формирования химического состава снегового стока в бессточной области Обь-Иртышского междуречья // Химия в интересах устойчивого развития. 2002. №10. С. 485-496.
20. Швецова А.В., Слажнева С.С., Антюфеева Т.В., и др. Экологическое состояние Бурлинского озера // География и природопользование Сибири. 2020. №27. С. 179-186.
21. Guseva N.V., Nalivayko N.G., Kopylova Y.G., Khvaschevskaya A.A., Vaishlya O.B. Chemical and microbial composition of Khakassia Saline Lakes with regard to their ecological state // IERI Procedia. 2014. V. 8. P. 130-135. <https://doi.org/10.1016/j.ieri.2014.09.022>

REFERENCES

1. Aleshina, N.I. (2021). Econstruction of biological treatment facilities in the town of yarovoye to protect lake big yarovoe from pollution. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, (3 (197)), 34-38. (in Russ.).
2. Antyufeeva, T.V., Akimov, O.S., Kurepina, N.Yu., Dunets, A.N., & Rymar, A.A. (2019). Hydromineral resources as a factor of the development of health and health tourism in the altai region. *Nauka i turizm: strategii vzaimodeistviya*, (11), 63-76. (in Russ.).
3. Bizhanov, A.T. (2018). Regional'nye kriterii normirovaniya sbrosa biogennykh veshchestv v vodnye ob"ekty na primere oz. Bol'shoe Yarovoe. *Vestnik sovremennykh issledovaniy*, (6.3), 80-84. (in Russ.).
4. Vesina, L. (2014). Artemia Leach, 1819 gipergalinnih ozjor juga zapadnoj Sibiri. *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele vieţii*, 322(1), 90-103. (in Russ.).
5. Vesnina, L.V., Ronzhina, T.O., Korotkikh, V.B., Permyakova, G.V., & Klepikov, R.A. (2011). Rezul'taty monitoringovykh issledovaniy promyslovykh gipergalinnih ozer Altaiskogo kraja. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, (4), 46-51. (in Russ.).
6. GOST R 51592-2000. Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob. Data vvedeniya 2001-07-01. (in Russ.).
7. Dirin, D.A., Mardasova, E.V., & Rygalov, E.V. (2017). Resources of the Improving Recreation in Kulunda Steppe. *Geografiya i prirodopol'zovanie Sibiri*, (24), 11-33. (in Russ.).
8. Dolmatova, L.A. (2010). Sezonnaya dinamika gidrokhimicheskikh kharakteristik oz. Bol'shoe Yarovoe. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*, (6-2), 272-277. (in Russ.).
9. Egorov, N.S. (1957). Vydelenie mikrobov-antagonistov i biologicheskie metody ucheta ikh antibioticheskoi aktivnosti. Moscow. (in Russ.).
10. Ermolaeva, N.I. (2015). By Zoogeographical Analysis Zooplankton Fauna of the Lakes in the South of Ob-irtysh Interfluve. *Izvestiya Altaiskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva*, (2 (37)), 63-71. (in Russ.).
11. Lebedeva, V.M., Lopukhina, O.V., & Kalinina, N.V. (2008). Osobennosti khimiko-mineralogicheskogo sostava solei v sorovykh solonchakakh i ozerakh Kulundinskoj stepi. *Pochvovedenie*, (4), 467-480. (in Russ.).
12. Leonova, G.A., Bogush, A.A., Bobrov, V.A., Badmaeva, Zh.O., & Korneeva, T.V. (2006). (in Russ.) Khimicheskie formy tyazhelykh metallov v rape solyanogo ozera Bol'shoe Yarovoe, otsenka ikh biodostupnosti i ekologicheskoi opasnosti. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*, (2), 39-46. (in Russ.).
13. Leonova, G.A., Bogush, A.A., Bobrov, V.A., Bychinskii, V.A., Trofimova, L.B., & Malikov, Yu.I. (2007). Ekologo-geokhimicheskaya otsenka solyanikh ozer Altaiskogo kraja. *Geografiya i prirodnye resursy*, 1, 51-59. (in Russ.).

14. Lobova, T.I., Listova, L.V., & Popova, L.Yu. (2004). Distribution of Heterotrophic Bacteria in Lake Shira. *Microbiology (Mikrobiologiya)*, 73(1), 89-93. (in Russ.).
15. Malikova, I.N., Uctinov, M.T., Anoshin, G.N., Badmaeva, Zh.O., & Malikov, Yu.I. (2008). Rtut' v pochvax i pachteniyax v paione ozepa Bol'shoe Yapovoe (Altaickii kpai). *Geologiya i geofizika*, 49(1), 59-66. (in Russ.).
16. Metodicheskie rekomendatsii Mezhtseional'noi assotsiatsii po klinicheskoi mikrobiologii i antimikrobnui khimioterapii "Opredelenie chuvstvitel'nosti mikroorganizmov k antimikrobnym preparatam". Versiya 2021-01. (in Russ.).
17. Metodicheskie rekomendatsii MR 4.2.0220-20. 4.2. Metody kontrolya. Biologicheskie i mikrobiologicheskie faktory. Metody sanitarno-bakteriologicheskogo issledovaniya mikrobnui obsemennosti ob"ektov vneshnei sredy. (in Russ.).
18. Syrenzhapova, A.S. (2004). Sezonnnye i mezhgodovyye izmeneniya aktivnosti mikroorganizmov vysokomineralizovannykh sodovo-solenykh ozer Onon-Kerulenskoii gruppy: avtoreferat. Ulan-Ude. (in Russ.).
19. Temerev, S. V., Galakhov, V. P., Eirikh, A. N., & Serykh, T. G. (2002). Osobennosti formirovaniya khimicheskogo sostava snegovogo stoka v besstokhnoi oblasti Ob'-Irtyskshogo mezhdurech'ya. *Khimiya v interesakh ustoiichivogo razvitiya*, 10(4), 485-496. (in Russ.).
20. Shvetsova, A.V., Slazhneva, S.S., Antyufeeva, T.V., Skripko, V.V., Pochemin, N.M., Kazartsev, D.S., & Rymar', A.A. (2020). Ecological Conditions of Burlin Lake. *Geografiya i prirodopol'zovanie Sibiri*, (27), 179-186. (in Russ.).
21. Guseva, N. V., Nalivayko, N. G., Kopylova, Y. G., Khvashevskaya, A. A., & Vaishlya, O. B. (2014). Chemical and microbial composition of Khakassia Saline Lakes with regard to their ecological state. *IERI Procedia*, 8, 130-135. <https://doi.org/10.1016/j.ieri.2014.09.022>

дата поступления: 25.09.2021

дата принятия: 03.02.2022

© Соловьянова Н.А., Емельянова Е.К., Андреева И.С., 2022